高濃度窒素ドープ CVD ダイヤモンドに作製した NV アンサンブルのスピン特性評価

Spin characterization of NV ensembles on high-concentration nitrogen-doped CVD diamonds

O上田真由¹, 早坂京祐¹, 金久京太郎¹, 蔭浦泰資^{1,3}, 河合空¹, 大谷和毅¹, 上田優樹¹, 齋藤悠太¹, 谷井孝至¹, 小野田忍², 磯谷順一⁴, 榎本心平⁵, 河野省三⁵, 川原田洋^{1,5} (1. 早大, 2. 量研, 3. NIMS, 4. 筑波大, 5. 早大材研)

Mayu Ueda¹, Kyosuke Hayasaka¹, Kyotaro Kanehisa¹, Taisuke Kageura^{1,3}, Sora Kawai¹, Kazuki Otani¹, Yuki Ueda¹, Yuta Saito¹, Takashi Tanii¹, Shinobu Onoda², Jyunichi Isoya⁴, Shinpei Enomoto⁵, Shozo Kono⁵, Hiroshi Kawarada^{1,5} (1. Waseda Univ., 2. QST, 3. NIMS, 4. Univ. of Tsukuba, 5. ZAIKEN)

E-mail: true.liberty@akane.waseda.jp

ダイヤモンド中の NV アンサンブルは、磁気センシングや量子コンピュータへの応用が期待されている[1]。磁気感度は、センシングに寄与する NV センターの数 N とコヒーレンス時間 T₂について $\sqrt{NT_2}$ に比例する[2]ため、長い T₂を保ったまま高濃度な NV センターを作製することで磁気感度が向上する。そこで、化学気相成長法(CVD 法)により高濃度窒素ドープダイヤモンドを作

製することで、NV アンサンブルの濃度の向上を試みた。また、透過 型電子顕微鏡(TEM)を用いて窒素ドープ層に局所的な電子照射を行 い、空孔を導入する[3]ことで NV アンサンブルの更なる密度の増加 を試みた。

本研究では、研究室所有のマイクロ波プラズマ化学気相成長 (MPCVD)装置を用いて、(111)基板に対して CVD 合成を行った。メ タンガスに対する窒素ガスの流量を 1.8 倍という極めて高濃度に設 定し、ホモエピタキシャル成長を行った。二次イオン質量分析(SIMS) の結果、窒素濃度 5×10^{20} cm⁻³を得た。この値は窒素ドープ CVD ダ イヤモンドでは世界最高濃度と言える。次に、加速電圧 300keV の TEM(JEM-3010)を用いて dose 量 1.0×10^{20} cm⁻²~ 1.0×10^{22} cm⁻²の電子 線照射を行った。最後に、1000°Cで 2 時間真空アニール処理を行っ た。

その結果、電子線照射領域で発光強度の増加を確認した (Fig.1)。ゆえに電子線照射領域にて局所的な高濃度 NV アンサン ブルの作製に成功した。さらに、CFM 像の解析によって NV セ ンターの密度を算出した[4]。すると、電子線照射量の増加に伴い、 NV センターの密度は増加した(Fig.2)。dose 量 1.0×10²² cm⁻²の電 子線照射領域でのNVセンター密度は2.6×10¹⁷ cm-3、非照射領域 は $1.0 \times 10^{16} \text{ cm}^3$ であり、26 倍増加した。また、dose 量 1.0×10^{22} cm⁻²の電子線照射領域における Rabi 振動と Hahn echo の測定を 行った。Rabi 振動測定結果から求めた Rabi コントラストは 3.9% であった。Hahn echo 測定の結果、T₂は 1.3 μs であった(Fig.3)。 さらに、電子線照射量によらず T2は1μs 程度であった。電子線 照射によって窒素濃度は変化しないため、この結果は T2 を律速 するデコヒーレンス源は NV センター周辺に分布する窒素であ ることを示唆している。したがって、電子線照射の dose 量を増 やし、NV センターの密度を増加させることで、磁気感度の向上 が期待できる。

[謝辞]本研究は文部科学省・量子飛躍フラグシッププログラム (Q-LEAP) JPMXS0118068379 の助成を受けたものである。

- [1] M. Atature, J. Wrachtrup, et al., Nat. Rev. Mater. **3**, 38 (2018).
- [2] D. Budker, M. Romalis, Nature Phys 3, 227–234 (2007).
- [3] 早坂京祐、川原田 洋、 応用物理学会春季学術講演会、 18p-Z13-3 (2021).
- [4] S.A. Bogdanov, A.V. Akimov et al., Materials Today Comm, 24, 101019 (2020).



Fig 1. CFM image of electron irradiation area.



Fig 2. Correlation between electron dose and density of NV center.



